

# PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 07-054106  
(43)Date of publication of application : 28.02.1995

(51)Int.CI. C22C 38/00  
C21D 6/00  
C22F 1/02  
H01F 1/053

(21)Application number : 05-203964 (71)Applicant : DAIDO STEEL CO LTD  
(22)Date of filing : 18.08.1993 (72)Inventor : YAGI HIROYUKI

FURUYA TAKASHI  
NISHIO TAKAYUKI

## (54) PERMANENT MAGNET MATERIAL

### (57)Abstract:

PURPOSE: To provide a permanent magnet material having magnetic characteristics almost equipment to those of the conventional material though its main phase is constituted of an  $\alpha$ -Fe phase.

CONSTITUTION: This permanent magnet material has a compsn. shown by the following formula: Nd<sub>a</sub>Fe<sub>100-a-b</sub>B<sub>b</sub> (in the formula, (a) and (b) denote the numbers respectively satisfying  $1 \leq a \leq 10$  and  $1 \leq b \leq 10$ ) and in which the intensity ratio:  $100 \times I_0 / (I_0 + I_1)$  shows the value of  $\geq 30$  in the case the intensity of an  $\alpha$ -Fe phase (110) in the X-ray diffraction profile is defined as I<sub>0</sub> and the intensity of an Nd<sub>2</sub>Fe<sub>14</sub>B phase (410) is defined as I<sub>1</sub>. Furthermore, a part of Nd may be substituted by Pr or/and Dy.

## LEGAL STATUS

[Date of request for examination]

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

[Date of registration]

[Number of appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of extinction of right]

Copyright (C); 1998,2000 Japanese Patent Office

(19)日本国特許庁 (JP)

(12) 公開特許公報 (A)

(11)特許出願公開番号

特開平7-54106

(43)公開日 平成7年(1995)2月28日

(51)Int.Cl.<sup>a</sup> 認別記号 庁内整理番号 F I  
C 22 C 38/00 303  
C 21 D 6/00 9269-4K  
C 22 F 1/02  
H 01 F 1/053

H 01 F 1/04 H  
審査請求 未請求 請求項の数6 OL (全8頁)

(21)出願番号 特願平5-203964

(22)出願日 平成5年(1993)8月18日

(71)出願人 000003713  
大同特殊鋼株式会社  
愛知県名古屋市中区錦一丁目11番18号  
(72)発明者 八木 裕幸  
愛知県東海市加木屋町南鹿持18  
(72)発明者 古谷 崇司  
愛知県知多市梅が丘2-108  
(72)発明者 西尾 孝幸  
愛知県春日井市岩成台6-2-314-204  
(74)代理人 弁理士 長門 侃二

(54)【発明の名称】 永久磁石材料

(57)【要約】

【目的】  $\alpha$ -Fe相が主相であるにもかかわらず、従来材料と略同等の磁気特性を有する永久磁石材料を提供する。

【構成】 この永久磁石材料は、次式:  $N_{da}Fe_{100-a-b}B_b$  (式中、a, bは、それぞれ、 $1 \leq a \leq 10$ ,  $1 \leq b \leq 10$ を満足する数を表す) で示される組成を有し、かつ、X線回折プロファイルにおける $\alpha$ -Fe相(110)の強度を $I_0$ ,  $N_{d2}Fe_{14}B$ 相(410)の強度を $I_1$ としたときに、強度比:  $100 \times I_0 / (I_0 + I_1)$ が30以上の値を示すことを特徴とする。 $N_d$ の一部が $P_r$ または/および $D_y$ で置換されてもよい。

## 【特許請求の範囲】

【請求項1】 次式:  $N_{da}Fe_{100-a-b}B_b$  (式中、a, bは、それぞれ、 $1 \leq a \leq 10$ ,  $1 \leq b \leq 10$ を満足する数を表す) で示される組成を有し、かつ、X線回折プロファイルにおける $\alpha$ -Fe相(110)の強度を $I_0$ ,  $N_{d2}Fe_{14}B$ 相(410)の強度を $I_1$ としたときに、強度比:  $100 \times I_0 / (I_0 + I_1)$ が30以上の値を示すことを特徴とする永久磁石材料。

【請求項2】  $N_d$ の一部が $P_r$ または/および $D_y$ で置換されている請求項1の永久磁石材料。

【請求項3】 次式:  $N_{da}(Fe_{100-a-b-c}Co_c)B_b$  (式中、a, b, cはそれぞれ、 $1 \leq a \leq 10$ ,  $1 \leq b \leq 10$ ,  $0 < c \leq 30$ を満足する数を表す) で示される組成を有し、かつ、X線回折プロファイルにおける $\alpha$ -Fe相(110)の強度を $I_0$ ,  $N_{d2}Fe_{14}B$ 相(410)の強度を $I_1$ としたときに、強度比:  $100 \times I_0 / (I_0 + I_1)$ が30以上の値を示すことを特徴とする永久磁石材料。

【請求項4】  $N_d$ の一部が $P_r$ または/および $D_y$ で置換されている請求項3の永久磁石材料。

【請求項5】 次式:  $N_{da}(Fe_{1-a-b-c}Co_c)B_bTa_d$  (式中、Tは、Al, Si, Ti, V, Cr, Ga, Zr, Nb, Moの群から選ばれる少なくとも1種を表し、a, b, c, dは、それぞれ、 $1 \leq a \leq 10$ ,  $1 \leq b \leq 10$ ,  $0 < c < 30$ ,  $0 < d \leq 10$ を満足する数を表す) で示される組成を有し、かつ、X線回折プロファイルにおける $\alpha$ -Fe相(110)の強度を $I_0$ ,  $N_{d2}Fe_{14}B$ 相(410)の強度を $I_1$ としたときに、強度比:  $100 \times I_0 / (I_0 + I_1)$ が30以上の値を示すことを特徴とする永久磁石材料。

【請求項6】  $N_d$ の一部が $P_r$ または/および $D_y$ で置換されている請求項5の永久磁石材料。

## 【発明の詳細な説明】

## 【0001】

【産業上の利用分野】 本発明は永久磁石材料に関し、更に詳しくは、ソフト磁性を発揮する $\alpha$ -Fe相を主相とし、ハード磁性を発揮する $N_{d2}Fe_{14}B$ 相を副相とする新規な構造の永久磁石材料に関する。

## 【0002】

【従来の技術】  $N_d$ -Fe-B系の永久磁石としては、これら材料を焼結して製造した焼結磁石と、超急冷法で $N_d$ -Fe-B系の微細な合金粉末を調製し、その合金粉末を結晶化したのちそれを合成樹脂で結着した構造のボンド磁石とが開発されており、これらはいずれも実用に供されている。

【0003】 これらの永久磁石の材料のうち、主として焼結法で製造されるものは、 $N_{d2}Fe_{14}B$ 相が主相であり、 $N_d$ 富化相やB富化相がわずかではあるが混在しており、また超急冷法で製造されるものは、 $N_{d2}Fe_{14}B$ 相のほかに極く僅かに非晶質相が混在している。そ

して、これらの磁石材料には、全体としては、通常、 $N_d$ , Bが、それぞれ、10~15原子%, 5~8原子%含まれている。

【0004】 また、 $N_d$ の含有量が10原子%以下である組成の $N_d$ -Fe-B系永久磁石も提案されている

(特開昭64-703号公報参照)。この永久磁石の場合も主相は $N_{d2}Fe_{14}B$ 相である。そして、他の元素を添加することにより、上記主相以外の相の析出を抑制し、もって全体の磁気特性の向上が企図されている。更に、特開昭63-100155号公報には、 $Fe_3B$ - $N_{d2}Fe_{14}B$ から成る永久磁石が開示されている。この永久磁石は、ソフト磁性の $Fe_3B$ 相とハード磁性の $N_{d2}Fe_{14}B$ 相の混相である。この場合、B相は18~19原子%と多量に含むことも1つの特徴になっている。

【0005】 このように、従来から知られている $N_d$ -Fe-B系の永久磁石の場合は、1つは、主相がハード磁性の $N_{d2}Fe_{14}B$ 相で構成され、他の1つは、ソフト磁性の $Fe_3B$ 相とハード磁性の $N_{d2}Fe_{14}B$ 相である。そして前者の場合は、製造過程で生成してくる例えは $\alpha$ -Fe相は磁気特性を劣化させる相であるとされ、これら相の生成を極力抑制するという努力が払われている。

## 【0006】

【発明が解決しようとする課題】 従来の $N_d$ -Fe-B系の永久磁石における主相は $N_{d2}Fe_{14}B$ 相であるか、または $Fe_3B$ 相と $N_{d2}Fe_{14}B$ 相との混相であり、 $\alpha$ -Fe相の生成は忌避される。しかしながら、例えは $\alpha$ -Fe相が主相であっても、従来と同じような磁気特性を発現させることができれば、その $N_d$ -Fe-B系の永久磁石は安価な磁石としてその工業的価値に富むものであるということができる。

【0007】 本発明は、上記した観点に立って開発され、従来は有害であると考えられていた $\alpha$ -Fe相を積極的に利用する $N_d$ -Fe-B系永久磁石用の材料であって、 $\alpha$ -Fe相が主相として存在しているにもかかわらず、従来から知られている $N_d$ -Fe-B系の永久磁石と同等水準の磁気特性を有する $N_d$ -Fe-B系の永久磁石を製造することができる永久磁石材料の提供を目的とする。

## 【0008】

【課題を解決するための手段】 本発明者らは、上記した目的を達成するために銳意研究を重ねた結果、下記する組成を有し、また、主相が $\alpha$ -Fe相であってもその結晶粒が微細であり、かつ、面指数(110)の $\alpha$ -Fe相と面指数(410)の $N_{d2}Fe_{14}B$ 相の存在割合が下記するような関係にある $N_d$ -Fe-B系の材料は、従来からの $N_{d2}Fe_{14}B$ 相を主相とする材料と略同等の磁気特性を有するとの事実を見出し、本発明の永久磁石材料を開発するに至った。

【0009】すなわち、本発明においては、次式：

$$Nd_a Fe_{100-a-b} B_b \dots (1)$$

(式中、a, bは、それぞれ、 $1 \leq a \leq 10$ ,  $1 \leq b \leq 10$ を満足する数を表す)で示される組成を有し、かつ、X線回折プロファイルにおける $\alpha$ -Fe相(110)の強度を $I_0$ , Nd<sub>2</sub>Fe<sub>14</sub>B相(410)の強度を $I_1$ としたときに、強度比： $100 \times I_0 / (I_0 + I_1)$ が30以上の値を示すことを特徴とする永久磁石材料(以下、第1の材料という)が提供され、また、次式：

$$Nd_a (Fe_{100-a-b-c} Co_c) B_b \dots (2)$$

(式中、a, b, cはそれぞれ、 $1 \leq a \leq 10$ ,  $1 \leq b \leq 10$ ,  $0 < c \leq 30$ を満足する数を表す)で示される組成を有し、かつ、X線回折プロファイルにおける $\alpha$ -Fe相(110)の強度を $I_0$ , Nd<sub>2</sub>Fe<sub>14</sub>B相(410)の強度を $I_1$ としたときに、強度比： $100 \times I_0 / (I_0 + I_1)$ が30以上の値を示すことを特徴とする永久磁石材料(以下、第2の材料という)が提供され、更には、次式：

$$Nd_a (Fe_{1-a-b-c} Co_c) B_b Ta \dots (3)$$

(式中、Tは、Al, Si, Ti, V, Cr, Ga, Zr, Nb, Moの群から選ばれる少なくとも1種を表し、a, b, c, dは、それぞれ、 $1 \leq a \leq 10$ ,  $1 \leq b \leq 10$ ,  $0 < c \leq 30$ ,  $0 < d \leq 10$ を満足する数を表す)で示される組成を有し、かつ、X線回折プロファイルにおける $\alpha$ -Fe相(110)の強度を $I_0$ , Nd<sub>2</sub>Fe<sub>14</sub>B相(410)の強度を $I_1$ としたときに、強度比： $100 \times I_0 / (I_0 + I_1)$ が30以上の値を示すことを特徴とする永久磁石材料(以下、第3の材料という)が提供される。

【0010】これら第1の材料、第2の材料および第3の材料のいずれにおいても、Ndの一部がPrやDyで置換されると、得られた材料で製造した永久磁石の磁気特性が全般的に向上するので好適である。Pr, Dyの置換量は、格別限定されるものではないが、原子%で、Nd100に対し、50%以下であることが好ましい。

【0011】第1の材料、第2の材料および第3の材料のいずれにおいても、それらのX線回折プロファイルをとり、その $\alpha$ -Fe相(110)の強度を $I_0$ , Nd<sub>2</sub>Fe<sub>14</sub>B相(410)の強度を $I_1$ としたときに、 $100 \times I_0 / (I_0 + I_1)$ で定義する強度比が30以上になっている。この強度比が30より小さい値である材料は、従来から提案されているようなNd<sub>2</sub>Fe<sub>14</sub>B相が主相である材料になってしまい、仮に同水準の磁気特性が得られたとしても、安価な磁石材料としての工業的価値が乏しい材料になり、やはり $\alpha$ -Fe相の影響が弱くなり、目的とする材料として不適当になる。

【0012】式(1)で示した第1の材料の組成において、Ndの原子%を表す $\alpha$ 値は、 $1 \leq a \leq 10$ の範囲に

設定され、またBの原子%を表す $b$ 値は、 $1 \leq b \leq 10$ の範囲に設定される。a値が1より小さい組成の材料である場合は、ハード磁性(Nd<sub>2</sub>Fe<sub>14</sub>B相)の割合が極端に減少するため保磁力(iHc)が得にくくなり、またa値が10より大きくなっている組成の材料である場合は、ソフト磁性( $\alpha$ -Fe相)の割合が極端に減少していく、本発明の意図から外れてくるからである。

【0013】また、b値が1より小さい組成の材料である場合は、保磁力の低下が引き起こされ、10より大きくなっている組成の材料である場合は、 $\alpha$ -Fe相やNd<sub>2</sub>Fe<sub>14</sub>B相以外の相(例えばFe<sub>3</sub>B相など)が生成して磁気特性の低下が引き起こされるからである。好ましいa, bは、それぞれ、 $4.0 \leq a \leq 7.0$ ,  $4.0 \leq b \leq 6.0$ を満たす数である。

【0014】式(2)で示した第2の材料は、第1の材料におけるFeの一部がCoで置換されている材料である。このように、Feの一部がCoで置換されている材料は、非置換の材料、すなわち、前記した第1の材料に比べて磁気特性が向上するので好適である。この場合のCoの置換量、すなわち、式(2)におけるCoの原子%を表すc値は、 $0 < c \leq 30$ の範囲に設定される。

【0015】c値が30より大きくなっている組成の材料は、Co量が多いため高価となり、安価な永久磁石材料を求める本発明の目的に合致しない。磁気特性の向上と材料コストのバランスを考えると、好ましいc値は、 $5.0 \leq c \leq 8.0$ を満たす数に設定される。式(3)で示した組成の第3の材料は、第2の材料に更にAl, Si, Ti, V, Cr, Ga, Zr, Nb, Moなどの元素Tを配合したものである。これらの元素Tはそれぞれ単独で配合されていてもよく、また、2種を適宜に選んで一緒に配合されていてもよい。

【0016】これらの元素が配合されると、その材料は、前記した第2の材料に比べてその磁気特性が一層向上する。その場合の元素Tの配合量、すなわち、式(3)におけるTの原子%を表すd値は、 $0 \leq d \leq 10$ の範囲に設定される。このd値が10より大きくなっている組成の材料は、保磁力、磁束密度のいずれもが低下していくからである。好ましいd値は、 $1.0 \leq d \leq 5.0$ を満たす数である。

【0017】本発明の永久磁石材料は、いずれも、上記した組成の合金を溶製し、その溶湯に対し、例えば、常用の超急冷法、ガス噴霧法、遠心噴霧法、メカニカルアロイング法、メカニカルグライニング法などを適用することにより、超微細の結晶粒として製造される。また、非晶質の微細粒として製造したのち、これを所定の温度で加熱して結晶粒にしてもよい。

【0018】これらの方法で製造される結晶粒の粒径は、良好な磁気特性を得るためにには小さければ小さいほどよい。具体的には、数nm～1000nm程度の粒径であることが好ましい。とくに好ましくは、20～50

nmである。

【0019】

【実施例】

実施例1～20

表1で示すような成分組成の合金を高周波誘導炉で溶製したのち、得られた各溶湯をロール周速が10～40m/secに設定された超急冷法でリボン状試料にし、各試料を粉碎して粒径300μm以下の粉末にした。ついで、各粉末に、500～800℃のアルゴン雰囲気中で5～30分の加熱処理を施して永久磁石材料とした。

【0020】これら永久磁石材料の組成を分析し、また、X線回折分析を行い、そのプロファイルから $\alpha$ -Fe相(110)の強度:  $I_0$ 、 $Nd_2Fe_{14}B$ 相(410)の強度:  $I_1$ を求め、強度比:  $100 \times I_0 / (I_0 + I_1)$ を算出した。また、各材料粉末における $\alpha$ -Fe相の結晶粒の大きさを電子顕微鏡で計測した。ついで、各材料粉末97.5重量部とエポキシ樹脂2.5重量部とを混合してボンド磁石を製造し、得られた磁石の磁気特性を測定した。以上の結果を一括して表1に示した。

【0021】なお、実施例6の材料については、そのX線回折プロファイルを図1として示した。また、比較のために、従来の材料:  $Nd_{12}Fe_{82}B_6$ についても上記実施例と同様に磁気特性を測定し、その結果を比較例として表1に併記した。また、この比較例のX線回折プロファイルを図2として示した。

【0022】

【表1】

	材 料 粉 末					磁 气 特 性		
	組 成 (原 子 %)				$\alpha$ -Fe相の結晶粒径(μm)	強 度 比 ( $100 \times I_0 / (I_0 + I_1)$ )	B_r (KG)	I_Hc (kOe)
	Nd	Fe	B	組 成 式				
実施例1	1.00	93.00	6.00	$NdFe_{14}B_6$	5.3	97.08	4.36	0.40
実施例2	2.00	92.00	6.00	$Nd_2Fe_{14}B_6$	5.0	98.15	4.74	0.55
実施例3	3.00	91.00	6.00	$Nd_3Fe_{14}B_6$	4.8	96.16	5.64	1.70
実施例4	4.00	90.00	6.00	$Nd_4Fe_{14}B_6$	4.9	95.24	8.21	2.60
実施例5	5.00	89.00	6.00	$Nd_5Fe_{14}B_6$	4.5	94.94	8.45	3.04
実施例6	6.00	88.00	6.00	$Nd_6Fe_{14}B_6$	4.3	93.48	8.65	3.20
実施例7	7.00	87.00	6.00	$Nd_7Fe_{14}B_6$	4.4	82.84	8.02	5.46
実施例8	8.00	86.00	6.00	$Nd_8Fe_{14}B_6$	4.5	74.03	7.95	8.87
実施例9	9.00	85.00	6.00	$Nd_9Fe_{14}B_6$	4.3	62.50	6.89	7.65
実施例10	10.00	84.00	6.00	$Nd_{10}Fe_{14}B_6$	4.0	57.47	6.74	10.30
実施例11	6.00	93.00	1.00	$Nd_6Fe_{14}B_1$	5.7	94.34	8.00	1.82
実施例12	6.00	92.00	2.00	$Nd_6Fe_{14}B_2$	5.5	94.34	8.02	1.78
実施例13	6.00	91.00	3.00	$Nd_6Fe_{14}B_3$	6.3	94.34	8.21	2.80
実施例14	6.00	90.00	4.00	$Nd_6Fe_{14}B_4$	4.9	93.46	8.87	3.00
実施例15	6.00	89.00	5.00	$Nd_6Fe_{14}B_5$	4.3	93.46	8.99	3.34
実施例16	6.00	88.00	6.00	$Nd_6Fe_{14}B_6$	4.7	93.46	8.65	3.20
実施例17	6.00	87.00	7.00	$Nd_6Fe_{14}B_7$	4.8	92.59	8.23	8.12
実施例18	6.00	86.00	8.00	$Nd_6Fe_{14}B_8$	4.5	92.59	8.21	2.88
実施例19	6.00	85.00	9.00	$Nd_6Fe_{14}B_9$	4.9	93.48	8.17	2.89
実施例20	6.00	84.00	10.00	$Nd_6Fe_{14}B_{10}$	5.0	93.48	8.18	2.78
比較例	12.00	82.00	8.00	$Nd_{12}Fe_{82}B_6$	3.9	9.09	6.12	12.20

図1のプロファイルから明らかなように、本発明の材料では $\alpha$ -Fe相(110)が主相をなし、Nd<sub>2</sub>Fe<sub>14</sub>B相(410)の強度は比較的弱い。一方、図2のプロファイルから明らかなように、従来の材料ではNd<sub>2</sub>Fe<sub>14</sub>B相が主相をなしている。

【0023】しかし、表1の結果から明らかなように、本発明の材料は、 $\alpha$ -Fe相が主相であり、Nd<sub>2</sub>Fe<sub>14</sub>B相が副相をなすにもかかわらず、Br, BH<sub>max</sub>は比較例に比べて極めて大きな値を示し、その磁気特性は向上している。

#### 実施例21～30

表2で示すような合金組成であることを除いては、実施例1～20と同様にして本発明の第2の材料を製造した。これらの材料の特性、およびこれら材料で製造したボンド磁石の磁気特性を実施例1～20と同様にして測定した。その結果を一括して表2に示した。参考のために、第1の材料の実施例6に関するデータを表2に併記した。

#### 【0024】

10 【表2】

	材 料 粉 末						磁 气 特 性		
	組 成 (原 子 %)					$\alpha$ -Fe相の結晶粒径 (nm)	強 度 比 (100 × I <sub>0</sub> / (I <sub>0</sub> + I <sub>r</sub> ))	B <sub>r</sub> (EG)	iHc (kOe)
	Nd	Fe	B	Co	組 成 式				
実施例21	6.00	88.00	5.00	1.00	Nd <sub>2</sub> Fe <sub>14</sub> B <sub>0.5</sub> Co <sub>0.5</sub>	4.6	95.24	9.02	3.38
実施例22	6.00	86.00	5.00	3.00	Nd <sub>2</sub> Fe <sub>14</sub> B <sub>0.5</sub> Co <sub>0.5</sub>	4.5	94.34	9.16	3.45
実施例23	6.00	85.00	5.00	4.00	Nd <sub>2</sub> Fe <sub>14</sub> B <sub>0.5</sub> Co <sub>0.5</sub>	4.5	94.34	9.26	3.57
実施例24	6.00	84.00	5.00	5.00	Nd <sub>2</sub> Fe <sub>14</sub> B <sub>0.5</sub> Co <sub>0.5</sub>	4.3	92.59	9.32	3.81
実施例25	6.00	83.00	5.00	6.00	Nd <sub>2</sub> Fe <sub>14</sub> B <sub>0.5</sub> Co <sub>0.5</sub>	4.4	93.48	9.24	3.73
実施例26	6.00	81.00	5.00	8.00	Nd <sub>2</sub> Fe <sub>14</sub> B <sub>0.5</sub> Co <sub>0.5</sub>	4.7	93.46	9.21	3.64
実施例27	6.00	79.00	5.00	10.00	Nd <sub>2</sub> Fe <sub>14</sub> B <sub>0.5</sub> Co <sub>0.5</sub>	4.5	92.59	9.03	3.62
実施例28	6.00	74.00	5.00	15.00	Nd <sub>2</sub> Fe <sub>14</sub> B <sub>0.5</sub> Co <sub>0.5</sub>	4.3	93.46	9.04	3.58
実施例29	6.00	69.00	5.00	20.00	Nd <sub>2</sub> Fe <sub>14</sub> B <sub>0.5</sub> Co <sub>0.5</sub>	4.2	93.46	9.02	3.57
実施例30	6.00	59.00	5.00	30.00	Nd <sub>2</sub> Fe <sub>14</sub> B <sub>0.5</sub> Co <sub>0.5</sub>	4.3	94.34	9.00	3.42
参考例 (実施例6)	6.00	88.00	6.00	—	Nd <sub>2</sub> Fe <sub>14</sub> B <sub>0.5</sub>	4.7	93.46	8.65	3.20
									9.32

表2から明らかなように、Coを配合した第2の材料の方が第1の材料(実施例6)よりも磁気特性は向上している。

#### 実施例31～44

表3で示すような合金組成であることを除いては、実施例1～20と同様にして本発明の第3の材料を製造した。これらの材料の特性、およびこれら材料で製造した

ボンド磁石の磁気特性を実施例1～20と同様にして測定した。その結果を一括して表3に示した。参考のために、第2の材料の実施例24に関するデータを表3に併記した。

#### 【0025】

【表3】

	材 料 成 分 (原 子 %)						$\alpha$ -Fe 相の結晶 粒径 (nm)	強 度 比 (100 $\times$ $I_a$ / $(I_a + I_r)$ )	磁 气 特 性				
	N d	F e	B	C o	T				B r (KG)	i H c (kOe)	B H o x (MGoe)		
					種 類	量							
実施例 3 1	6.00	83.00	5.00	5.00	V	1.00	Nd <sub>2</sub> Fe <sub>14</sub> B <sub>2</sub> Co <sub>1</sub> Y <sub>1</sub>	3.9	94.34	9.76	4.12		
実施例 3 2	6.00	82.00	5.00	5.00	V	2.00	Nd <sub>2</sub> Fe <sub>14</sub> B <sub>2</sub> Co <sub>3</sub> Y <sub>3</sub>	3.5	93.46	10.01	4.53		
実施例 3 3	6.00	81.00	5.00	5.00	V	3.00	Nd <sub>2</sub> Fe <sub>14</sub> B <sub>2</sub> Co <sub>5</sub> Y <sub>3</sub>	3.0	92.59	9.68	4.42		
実施例 3 4	6.00	79.00	5.00	5.00	V	5.00	Nd <sub>2</sub> Fe <sub>14</sub> B <sub>2</sub> Co <sub>8</sub> Y <sub>6</sub>	3.7	92.59	9.56	4.31		
実施例 3 5	6.00	74.00	5.00	5.00	V	10.00	Nd <sub>2</sub> Fe <sub>14</sub> B <sub>2</sub> Co <sub>13</sub> Y <sub>10</sub>	3.8	93.46	9.35	4.02		
実施例 3 6	6.00	82.00	5.00	5.00	A 1	2.00	Nd <sub>2</sub> Fe <sub>14</sub> B <sub>2</sub> Co <sub>1</sub> Al <sub>2</sub>	3.5	94.34	9.75	4.21		
実施例 3 7	6.00	82.00	6.00	5.00	S i	2.00	Nd <sub>2</sub> Fe <sub>14</sub> B <sub>2</sub> Co <sub>3</sub> Si <sub>1</sub>	3.4	93.46	9.86	4.31		
実施例 3 8	6.00	82.00	5.00	5.00	T i	2.00	Nd <sub>2</sub> Fe <sub>14</sub> B <sub>2</sub> Co <sub>1</sub> Ti <sub>2</sub>	3.3	93.46	9.03	4.51		
実施例 3 9	6.00	82.00	5.00	5.00	V	2.00	Nd <sub>2</sub> Fe <sub>14</sub> B <sub>2</sub> Co <sub>5</sub> Y <sub>3</sub>	3.5	94.46	10.01	4.53		
実施例 4 0	6.00	82.00	5.00	5.00	C r	2.00	Nd <sub>2</sub> Fe <sub>14</sub> B <sub>2</sub> Co <sub>1</sub> Cr <sub>2</sub>	3.6	92.59	9.38	4.25		
実施例 4 1	6.00	82.00	5.00	5.00	G a	2.00	Nd <sub>2</sub> Fe <sub>14</sub> B <sub>2</sub> Co <sub>1</sub> Ga <sub>3</sub>	3.2	94.34	9.97	5.02		
実施例 4 2	6.00	82.00	5.00	5.00	Z r	2.00	Nd <sub>2</sub> Fe <sub>14</sub> B <sub>2</sub> Co <sub>1</sub> Zr <sub>3</sub>	3.4	93.46	10.03	4.33		
実施例 4 3	6.00	82.00	5.00	5.00	N b	2.00	Nd <sub>2</sub> Fe <sub>14</sub> B <sub>2</sub> Co <sub>1</sub> Nb <sub>2</sub>	3.4	92.59	9.69	4.51		
実施例 4 4	6.00	82.00	5.00	5.00	M o	2.00	Nd <sub>2</sub> Fe <sub>14</sub> B <sub>2</sub> Co <sub>1</sub> Mo <sub>2</sub>	3.3	92.50	9.74	4.61		
参考 (実施例 2 1)	6.00	84.00	5.00	5.00	-	-	Nd <sub>2</sub> Fe <sub>14</sub> B <sub>2</sub> Co <sub>1</sub>	4.3	92.59	9.32	3.81		
											10.24		

表3から明らかなように、Tを配合した第3の材料の方が第2の材料(実施例2 4)よりも磁気特性は向上している。

#### 実施例4 5～6 3

表4で示すような合金組成であることを除いては、実施例1～2 0と同様にして本発明の材料を製造した。これ

らの材料の特性、およびこれら材料で製造したボンド磁石の磁気特性を実施例1～2 0と同様にして測定した。その結果を一括して表4に示した。参考のために、実施例1 5に関するデータを表4に併記した。

【0026】

【表4】

実施例番号	材料の組成 (原子 %)							磁気特性			
	Nd	Pr	Dy	Fe	B	Co	T	組成量		$\alpha$ -Fe相の結晶粒径 (nm)	X線強度比 $(100 \times I_0 / (I_0 + I_1))$
								種類	量		
実施例4-5	5.90	0.10	-	89.00	5.00	-	-	Nd, $\alpha$ -Fe, $\beta$ , $\gamma$	4.6	93.45	9.02
実施例4-6	5.50	0.50	-	89.00	5.00	-	-	Nd, $\alpha$ -Fe, $\beta$ , $\gamma$	4.5	93.62	9.03
実施例4-7	5.00	1.00	-	89.00	5.00	-	-	Nd, $\alpha$ -Fe, $\beta$ , $\gamma$	4.3	93.71	9.11
実施例4-8	5.90	-	0.10	89.00	5.00	-	-	Nd, $\alpha$ -Fe, $\beta$ , $\gamma$	4.2	93.82	8.65
実施例4-9	5.50	-	0.50	89.00	5.00	-	-	Nd, $\alpha$ -Fe, $\beta$ , $\gamma$	4.6	93.81	9.01
実施例5-0	5.00	-	1.00	89.00	5.00	-	-	Nd, $\alpha$ -Dy, $\beta$ , $\gamma$	4.6	94.72	9.05
実施例5-1	5.00	0.50	0.50	89.00	5.00	-	-	Nd, $\alpha$ -Pr, $\beta$ , $\gamma$ , $\delta$ , $\epsilon$ , $\eta$	4.2	93.76	9.16
実施例5-2	5.00	1.00	-	84.00	5.00	5.00	-	Nd, $\alpha$ -Pr, $\beta$ , $\gamma$ , $\delta$ , $\epsilon$ , $\eta$	4.2	92.54	8.37
実施例5-3	5.00	-	1.00	84.00	5.00	5.00	-	Nd, $\alpha$ -Dy, $\beta$ , $\gamma$ , $\delta$ , $\epsilon$ , $\eta$	4.3	93.79	9.12
実施例5-4	5.00	0.50	0.50	84.00	5.00	5.00	-	Nd, $\alpha$ -Pr, $\beta$ , $\gamma$ , $\delta$ , $\epsilon$ , $\eta$ , $\theta$ , $\zeta$ , $\eta$	4.2	94.68	9.26
実施例5-5	5.00	-	1.00	82.00	5.00	5.00	A1	Nd, $\alpha$ -Dy, $\beta$ , $\gamma$ , $\delta$ , $\epsilon$ , $\eta$ , $\theta$ , $\zeta$ , $\eta$ , $\eta$	3.4	95.52	8.84
実施例5-6	5.00	-	1.00	82.00	5.00	5.00	Si	Nd, $\alpha$ -Dy, $\beta$ , $\gamma$ , $\delta$ , $\epsilon$ , $\eta$ , $\theta$ , $\zeta$ , $\eta$ , $\eta$	3.4	94.91	9.12
実施例5-7	5.00	-	1.00	82.00	5.00	5.00	Ti	Nd, $\alpha$ -Dy, $\beta$ , $\gamma$ , $\delta$ , $\epsilon$ , $\eta$ , $\theta$ , $\zeta$ , $\eta$ , $\eta$	3.3	96.35	9.67
実施例5-8	5.00	-	1.00	82.00	5.00	5.00	V	Nd, $\alpha$ -Dy, $\beta$ , $\gamma$ , $\delta$ , $\epsilon$ , $\eta$ , $\theta$ , $\zeta$ , $\eta$ , $\eta$	3.4	95.73	10.05
実施例5-9	5.00	-	1.00	82.00	5.00	5.00	Cr	Nd, $\alpha$ -Dy, $\beta$ , $\gamma$ , $\delta$ , $\epsilon$ , $\eta$ , $\theta$ , $\zeta$ , $\eta$ , $\eta$	3.4	95.82	9.54
実施例6-0	5.00	-	1.00	82.00	5.00	5.00	Ga	Nd, $\alpha$ -Dy, $\beta$ , $\gamma$ , $\delta$ , $\epsilon$ , $\eta$ , $\theta$ , $\zeta$ , $\eta$ , $\eta$	3.1	96.43	10.01
実施例6-1	5.00	-	1.00	82.00	5.00	5.00	Zr	Nd, $\alpha$ -Dy, $\beta$ , $\gamma$ , $\delta$ , $\epsilon$ , $\eta$ , $\theta$ , $\zeta$ , $\eta$ , $\eta$	3.4	91.45	10.11
実施例6-2	5.00	-	1.00	82.00	5.00	5.00	Nb	Nd, $\alpha$ -Dy, $\beta$ , $\gamma$ , $\delta$ , $\epsilon$ , $\eta$ , $\theta$ , $\zeta$ , $\eta$ , $\eta$	3.4	91.04	9.79
実施例6-3	5.00	-	1.00	82.00	5.00	5.00	Mo	Nd, $\alpha$ -Dy, $\beta$ , $\gamma$ , $\delta$ , $\epsilon$ , $\eta$ , $\theta$ , $\zeta$ , $\eta$ , $\eta$	3.4	92.63	9.83
合計 (実施例15)	6.00	-	-	89.00	5.00	-	-	Nd, $\alpha$ -Fe, $\beta$ , $\gamma$	4.3	93.46	8.99

表4から明らかなように、Ndの一部をPrやDyで置換すると、未置換の材料よりもその磁気特性が向上する。

#### 【0027】

【発明の効果】以上の説明で明らかなように、本発明の永久磁石材料は、従来のNd-Fe-B系の磁石材料では忌避されていた $\alpha$ -Fe相が主相であるにもかかわらず、その磁気特性は従来の材料と略同等の水準にある。

したがって、本発明の永久磁石材料は、 $\alpha$ -Fe相が主相であるため材料コストが低廉になる。

【0028】このようなことから、本発明の永久磁石材料は新規な材料としてその工業的価値は大である。

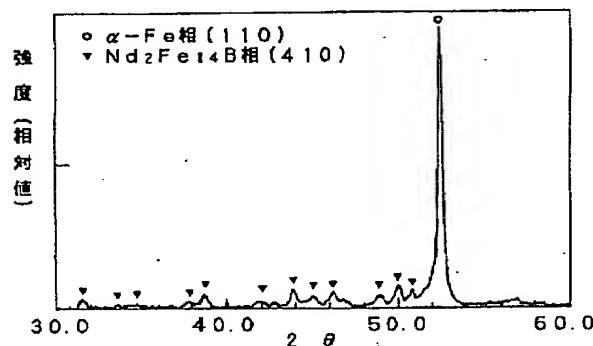
#### 【図面の簡単な説明】

50 【図1】本発明における実施例6の材料のX線回折プロ

ファイルである。

【図2】従来のNd-Fe-B系磁石材料のX線回折プロ

【図1】



ロファイルである。

【図2】

